

2010年チリ地震・津波災害の現地調査
—津波来襲状況および建物被害状況について—
FIELD SURVEY OF THE 2010 TSUNAMI IN CHILE

越村俊一¹⁾、松岡昌志²⁾、松山昌史³⁾、吉井 匠⁴⁾、
Erick Mas⁵⁾、Cesar Jimenez⁶⁾、山崎文雄⁷⁾

Shunichi KOSHIMURA¹, Masashi MATSUOKA², Masafumi MATSUYAMA³
Takumi YOSHII⁴, Erick MAS⁵, Cesar JIMENEZ⁶ and Fumio YAMAZAKI⁷

1) 東北大学大学院工学研究科、災害制御研究センター、准教授 博(工)

¹ Associate Professor, DCRC, Graduate School of Engineering, Tohoku University, Ph.D.
e-mail : koshimura@tsunami2.civil.tohoku.ac.jp

2) 産業技術総合研究所、情報技術研究部門、主任研究員 博(工)

² Senior Research Scientist, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Dr. Eng.
e-mail : m.matsuoka@aist.go.jp

3) 電力中央研究所 地球工学研究所 上席研究員 博(工)

³ Senior Researcher, Civil Engineering Research Laboratory, Central Research Institute of Electric Power Industry, Ph.D.
e-mail : matsu@criepi.denken.or.jp

4) 電力中央研究所 環境科学研究所 主任研究員 修(工)

⁴ Research Scientist, Environmental Science Research Laboratory, Central Research Institute of Electric Power Industry, MEng.
e-mail : takumi@criepi.denken.or.jp

5) 東北大学大学院工学研究科 博士課程後期

⁵ Graduate Student, Graduate School of Engineering, Tohoku University, MEng.
e-mail : erick@tsunami2.civil.tohoku.ac.jp

6) Research Scientist, Direccion de Hidrografia y Navegacion, Peru, MSci.

⁶ Research Scientist, Direccion de Hidrografia y Navegacion, Peru
e-mail : cesarsud86@hotmail.com

7) 千葉大学大学院工学研究科 建築・都市科学専攻 教授 工博

⁷ Professor, Graduate School of Engineering, Chiba University, Dr. Eng.
e-mail : fumio.yamazaki@faculty.chiba-u.jp

ABSTRACT: We conducted a field survey of the tsunami generated by the M8.8 great earthquake in Chile on 27 February 2010. The survey focused on the measurements of tsunami run-up height, flow depth, extent of inundation zone, structural damage inspection, and collecting eyewitness accounts. In total, tsunami heights and flow depths at approximately 120 points were measured along the coast of Biobio region, Chile, to understand the tsunami features during this event.

キーワード: 2010年チリ地震、津波、建物被害、現地調査

1. はじめに

2010年2月27日06:34 (UTC)に、南米チリ沖を震源とするマグニチュード8.8 (USGS, 2010)の巨大地震が発生した(図1(a))。この地震により発生した津波は太平洋全域に伝播し、広域かつ甚大な被害を及ぼした。特に震源域に面した海岸で津波による被害は甚大であり、2010年4月17日発行のLA TERCERA紙によると、地震・津波による死者は486人で、うち約半数が津波による死者であった。

本研究は、来襲した津波の高さおよび浸水域・浸水深、建物被害の状況についてまとめ、ペルー中部BioBio州に来襲した津波および被害の特徴を明らかにする。なお本調査は、日本・ペルーの国際共同研究プロジェクト「ペルーにおける地震・津波減災技術の向上」(JST-JICA地球規模課題対応国際科学技術協力事業)の一環として実施された。

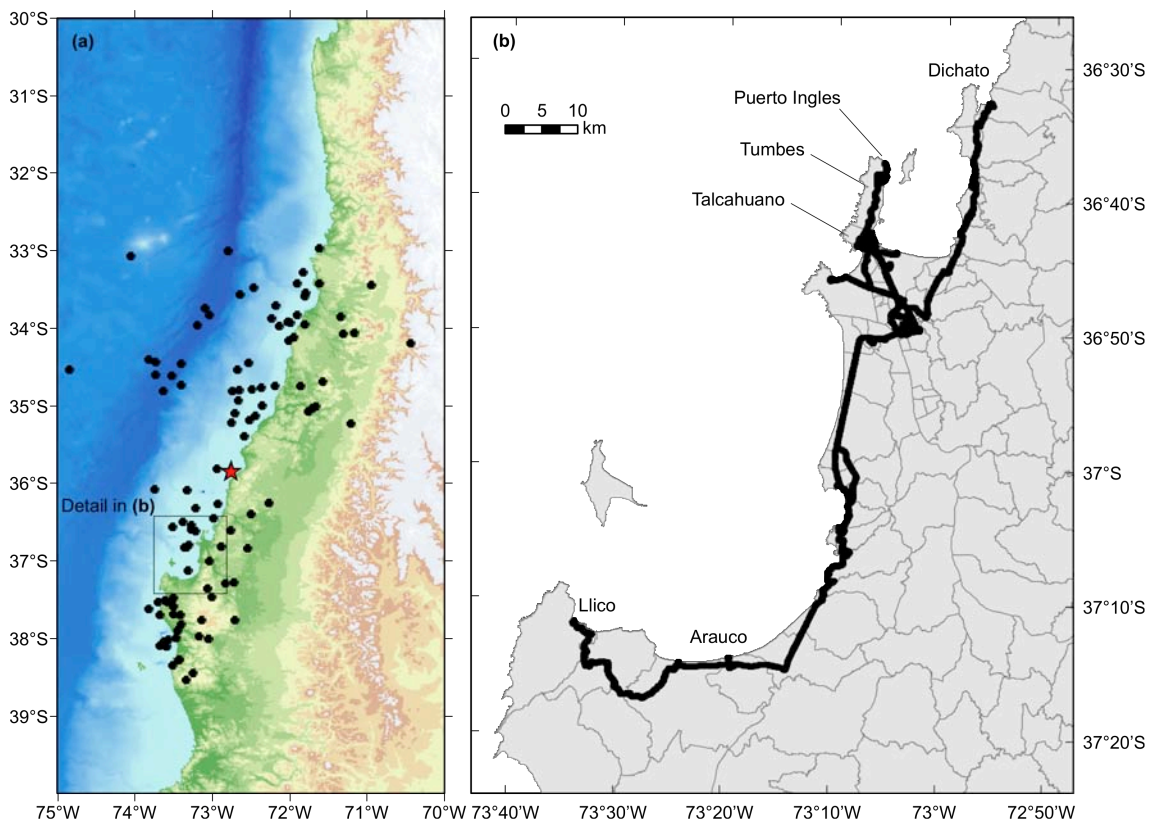


図1 (a) 2010年チリ地震の本震(★印)と2月27日から28日の余震分布(●) (USGS, 2010)、(b)現地調査ルート

2. 現地調査概要

著者らのグループは、チリ中部BioBio州の太平洋沿岸部において現地調査を実施した。調査期間は2010年4月18日から25日の8日間で、BioBio州Concepcion県、Arauco県の2県で計約120地点において津波遡上高、浸水高、浸水深を測定した。図1(b)に調査ルートを示す。調査のベースはConcepcionに置き、車で移動して調査地に向かった。

遡上高は、目撃証言や痕跡による津波の遡上限界地点の高さ、浸水高は建物等に付着した津波浸水の痕跡の高さであり、それぞれ調査時の海面からの高さを測定した後津波来襲時の海面(Talcahuanoの推算潮位)を用いて補正した。また、浸水深は建物等の津波痕跡の高さをその場の地表からの高さとして測定した。調査地域全体の測定結果を図2および図3に示す。

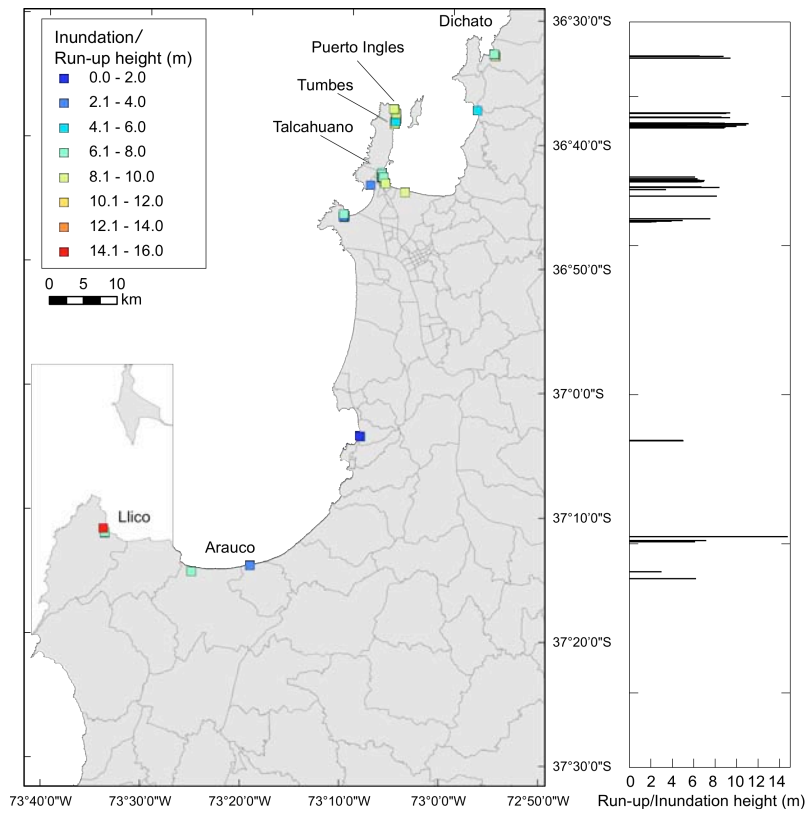


図2 遡上高・浸水高の分布

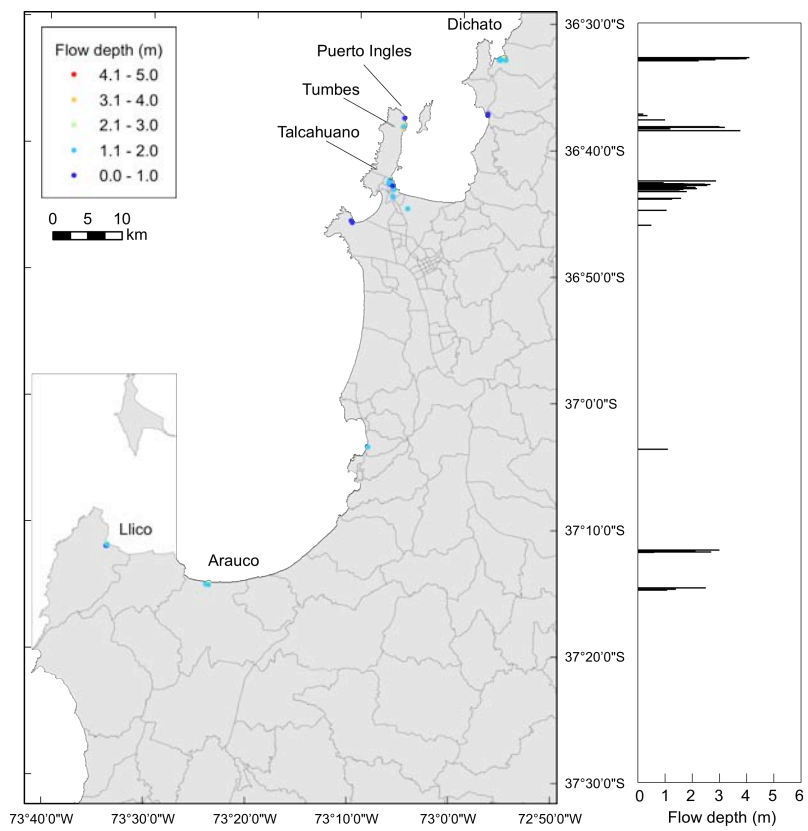


図3 浸水深の分布

3. 調査結果

3.1 Talcahuano

Talcahuanoは、Biobio州Concepcion県にある人口約250,000人（2002年当時）の港湾都市である。ここでは死者20名、行方不明者18名が報告されている。Talcahuanoの検潮記録は第1波以降が欠測であったため詳細な来襲状況を把握することは難しいが、危機管理局（CATOE：Centro de Alertamiento Temprano y Oficina de Emergencia）で聞き取り調査を行った結果、津波は少なくとも4度来襲し、その周期は1時間～45分ほど、最大波は4波目であったことが分かった。Talcahuanoでは、津波来襲前に津波避難所までの標識を作成して避難計画を準備中であったが、不運にもその対策は活かされなかった。

図4に示すのは、Talcahuano市街地における津波浸水範囲および測定した津波遡上高・浸水高および浸水深である。市街地では6～10mの津波遡上高が認められ、南側の湿地では1km以上内陸に浸水したことが分かった。また、図4には津波被災直後（2010年3月6日撮影）の衛星画像（World-View-2）を示している。津波により多くのコンテナが漂流しており、甚大な被害が確認できる。

建物被害については、ところどころ地震の揺れによる被害（建物壁面の亀裂など）や、津波浸水によりシャッターが変形するなどの被害が見られたが、流失した建物は確認できなかった。市街地内は主に低層の鉄筋コンクリート造の建物が密集しており、3m程度の浸水による流れには耐えることができた。

一方、Talcahuanoの西側にある港（San Vicente）では、被害はほとんど見られなかった。目撃証言によると、津波は港の岸壁を越えたが建物は浸水しなかったとのことである。同じ湾の西側と東側で比べて対照的であり、津波発生機構の解明に重要な情報となるであろう。今後詳細な数値計算等で明らかにすべき課題である。

津波の浸水域内では塩水の陸上への浸入により植生の活性度に変化が見られた。例えば、図5に示すのは、Talcahuano市内（図4の△印）の地点において、スペクトルカメラ（可視光と近赤外のセンサを搭載）において撮影した画像（フォールスカラー）とその画像から計算したNDVI（正規化植生指標）の比較である。この地点では、津波が堤防を越えなかったことが目撃証言より分かっており、堤防上端において植生の変化が見られた。植生が枯死した地点ではNDVIが0.5程度以下であり、浸水ラインを明確に判別できることが分かった。このような資料を光学衛星画像の解析における浸水域の閾値として利用することで、広域な津波浸水域の把握が可能となる。

3.2 TumbesおよびPuerto Ingles

TumbesとPuerto Inglesは、Tumbes半島（Talcahuano湾の西側）にある小規模な集落であり、それぞれ壊滅的な被害を受けたことが分かった。崖に張り付くようにして家屋が並び、そこを10m超の津波が襲った（図6）。また、この地域では図の写真にあるように、2.5mほどの地盤変動（隆起）が確認された。集落につながる舗装路は無く、孤立した状態であった。家を失った住民は、海岸から離れ山間部のキャンプでの生活を余儀なくされていた。住民への聞き取り調査によると、1960年のチリ地震津波時には海面が引いたが浸水は無かったそうである。1960年の津波を経験したことで、地震の後に津波が来るという教訓が生きており、ほとんどの住民が地震直後に高台に避難したため、ここでの死者は無かった。

3.3 Dichato

Dichatoは、美しい海岸を持つ人口約3,000人（2002年当時）の町である。海岸には別荘が建ち並び、普段は波の穏やかな別荘地である。海岸に立つビル（8階建て）から津波を目撃していたビルの守衛に話を聞いたところ、第1波は5:00頃に到達して3度以上来襲し、最大となったのは第3波であった。地震の直後、警察や近隣住民同士の声かけもあり、多くの住民が津波来襲前に避難したものの、ここでの死者・行方不明者は66人に達し、亡くなった人の多くは観光客や外来者であったと言われている。

図7に測定した遡上高および浸水深を示す。最高の遡上高は9.4m、浸水深は3～5mであった。ただし、浸水深については流失を免れた家屋の痕跡を基に測定したため、実際の津波よりも低く見積もっている可能性が高い。また、図7の衛星画像の比較を見ても分かるように、ここでの家屋の流失率は高く、半数以上の家屋が流失したことが確認された。ここでの家屋の多くは、1階部分が礎石造で2階部分が木造のような特異な構造形式であり、このような構造の津波への耐力を明らかにすることが課題である。

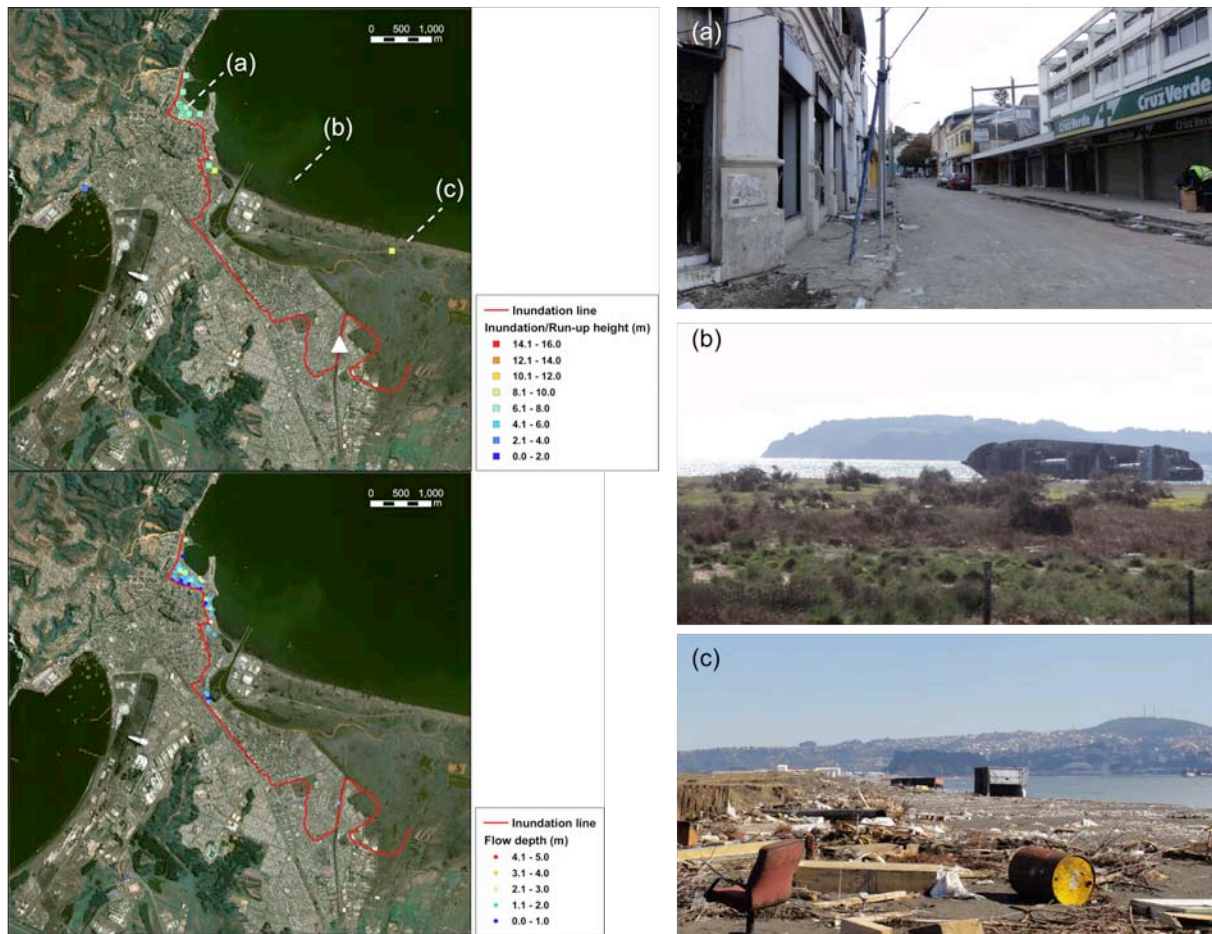


図4 左：Talcahuanoにおける津波浸水範囲と遡上高・浸水高（上）浸水深（下）の分布（白い三角印は植生活性度を測定した地点；図5）。右：(a)市街地の被害状況、(b)津波により転倒した船舶、(c)海岸に漂着した漂流物（撮影地点はそれぞれ左図に記載）

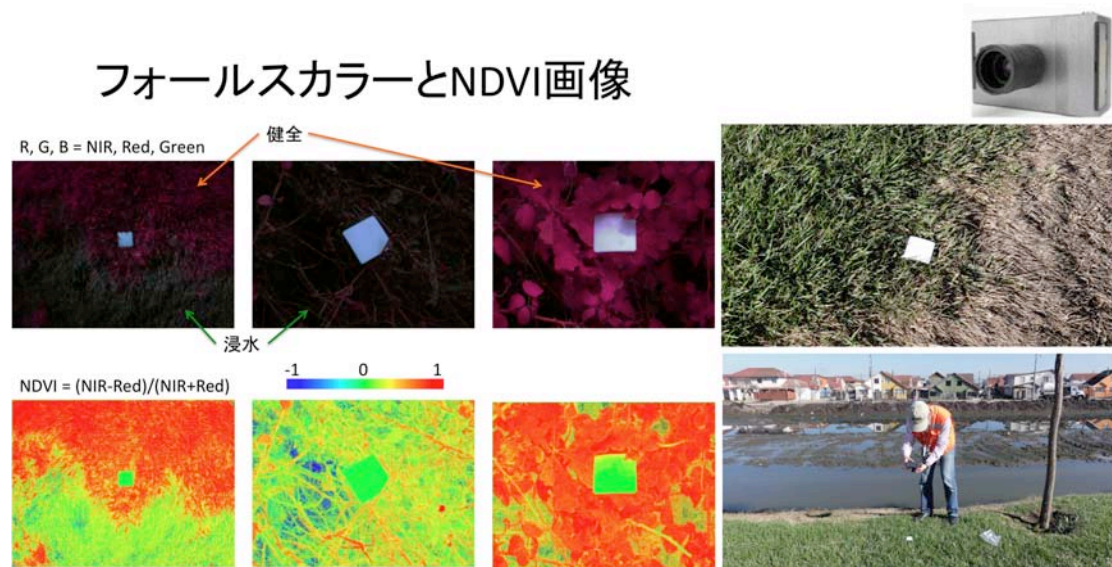


図5 津波浸水域における植生活性度の変化



図6 TumbesおよびPuerto Inglesにおける津波来襲・被害状況

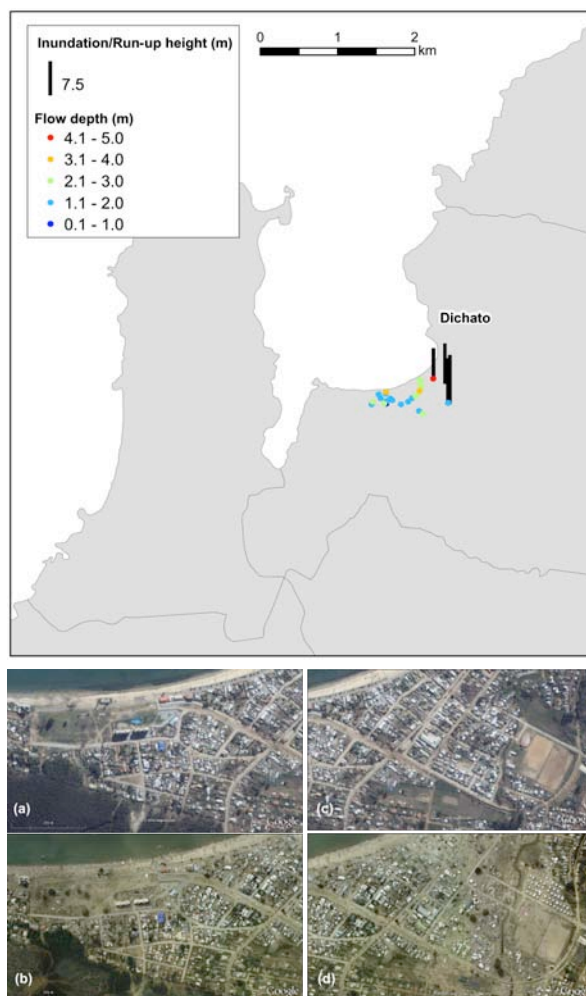


図7 上: Dichatoにおける津波来襲状況、下: 津波前後の衛星画像の比較(いずれもGoogleEarthから。a, c: 2006年4月26日、b, d: 2010年3月5日)

4. まとめ

2010年チリ地震津波の現地調査で得られた知見を以下にまとめる。

調査を実施したBiobio州では、平均して6m以上、場所により10mを超える津波が来襲していたことは分かった。特にTalcahuano周辺では津波は4波ほど来襲し、1波目が最大ではなかったことが目撃証言より明らかになった。特に被害が甚大であったのは、TalcahuanoとDichatoであった。

Talcahuanoでは、津波浸水による流失家屋・建物は無かったが、船舶やコンテナの漂流など複合的な被害の発生が確認された。一方、Dichatoにおける家屋被害は甚大で、半数以上の家屋が流失した。ここでも津波は複数回来襲し、第3波が最大であったという証言が得られた。

しかしながら、津波発生メカニズム、津波来襲状況の全体像は未だつかめていない。特に、なぜ遅くなって最大波が来襲したのか、なぜ湾の表側と裏側で来襲状況に大きな違いが生じたかについての結論は得られていない。今後、生存者が撮影したビデオや目撃証言の分析、津波数値解析を通じて津波来襲状況の全体像を明らかにする必要がある。

チリの人口は日本の約1/7.5であり、単純に人口比で考えた場合、同規模の地震・津波が我が国で発生した場合には3000人を超える死者を生んでいた可能性がある。チリでの調査・研究を通じて、我が国で発生しうる津波との共通点、起こりうる被害とその発生過程を明らかにし、減災対策への教訓とする必要がある。

謝 辞

本調査の一部は、JST-JICA地球規模課題対応国際科学技術協力事業「ペルーにおける地震・津波減災技術の向上に関する研究（代表：山崎文雄）」の補助を受けた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

1) U.S. Geological Survey (USGS), Magnitude 8.8 - OFFSHORE BIO-BIO, CHILE (オンライン)
<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqinthenews/2010/us2010tfan/>, 参照2010-03-01.